

# Recopier c'est déjà adapter : six types d'adaptation par copie

Jean Lieber

Orpailleur, LORIA, UMR 7503 CNRS, INRIA-Lorraine, Universités de Nancy,  
BP 239, 54 506 Vandœuvre-lès-Nancy,  
Jean.Lieber@loria.fr

**Résumé** Cet article étudie l'adaptation par copie dans le cadre du RÀPC. Cette étude revient à répertorier des relations entre les problèmes source et cible qui font que la solution du premier peut être réutilisée littéralement pour le second. Six relations sont décrites : celle qui correspond à un raisonnement approximatif ou incertain, celle qui exploite l'équivalence entre représentations de problèmes, la relation de généralité du problème source au problème cible, celle qui exploite des symétries, celle qui correspond au principe de précaution et celle qui correspond au cas des dépendances nulles.

**Mots clés** adaptation par copie, connaissances pour l'adaptation, connaissances pour la remémoration.

## 1 Introduction

La phase centrale du raisonnement à partir de cas (RÀPC, [1]) est l'adaptation : c'est elle qui produit la solution du problème cible [2]. C'est sans doute aussi celle qui soulève le plus de difficultés et elle a tendance à rebuter les concepteurs de systèmes de RÀPC. En effet, si on imagine aisément comment implanter la remémoration d'un cas (« Il suffit de prendre le plus proche voisin au sens d'une mesure de similarité prenant en compte les traits pertinents des problèmes à comparer. », peut-on penser), l'adaptation apparaît comme une inconnue multifforme.

Les recherches sur l'adaptation prennent trois voies principales : les démarches unificatrices, les méthodes d'acquisition des connaissances d'adaptation et les catalogues. Les démarches unificatrices visent à proposer des modèles généraux de l'adaptation sous différents angles (principes, algorithmes, etc.) et peuvent aider un concepteur de système de RÀPC à mieux appréhender l'adaptation dans sa globalité (citons en particulier [2], [3], [4] et [5]).

Les démarches d'acquisition des connaissances d'adaptation considèrent l'adaptation dans le cadre d'un domaine d'application donné et visent à mettre en évidence des principes généraux destinés non à l'adaptation elle-même, mais aux moyens de l'explicitier dans le domaine d'application considéré (citons [6] et [7] pour des techniques d'apprentissage de ces connaissances à partir de la base de cas et [8] et [9] pour des méthodologies d'acquisition auprès d'experts).

Enfin, certains travaux visent à mettre en évidence des catalogues de stratégies d'adaptation qui soient susceptibles de s'appliquer à plusieurs domaines (voir par exemple [1, pp. 41–

51], [10], [11] et [12]). L'étude décrite dans cet article rentre dans cette troisième catégorie ; elle vise à présenter des stratégies pour un type particulier d'adaptation : l'*adaptation par copie*. Ce type d'adaptation est aussi appelé *adaptation nulle* — *null adaptation* [1]. Elle consiste simplement à reprendre la solution du problème source comme solution du problème cible. Cela ne peut se faire dans n'importe quelles circonstances : les liens entre les problèmes source et cible jouent un rôle important.

C'est l'étude non exhaustive des circonstances particulières pouvant rendre l'adaptation par copie licite qui est au cœur de cet article (section 3). Cette étude est encadrée par les préliminaires de la section 2 et la discussion de la section 4. La section 5 conclut.

Cet article a été examiné par un relecteur anonyme qui a entamé le débat sur certains points. Certaines de ses remarques ont été intégrées dans le texte. Nous avons baptisé dans cet article ce relecteur « Le Lecteur ».

## 2 Notions, notations et hypothèses

Ce paragraphe présente quelques notions générales sur le RÀPC et quelques notations. Les notions de *problème* et de *solution* dépendent du domaine d'application. Un problème est par définition un élément de Problèmes, l'*espace des problèmes*, et une solution, un élément de Solutions, l'*espace des solutions*. On suppose qu'il existe une relation sur Problèmes  $\times$  Solutions qui signifie « est une solution de ». Une solution d'un problème pb est dénotée Sol(pb). Résoudre pb  $\in$  Problèmes consiste à trouver une solution Sol(pb) de pb. L'objectif du RÀPC est de résoudre un *problème cible* cible  $\in$  Problèmes en utilisant une solution connue Sol(srce) d'un problème srce, appelé *problème source*. Le couple (srce, Sol(srce)) est appelé *cas source*. L'ensemble fini des cas sources est appelé la *base de cas*. Plus généralement, un cas est un couple (pb, Sol(pb)) avec pb  $\in$  Problèmes.

Le RÀPC est souvent constitué de trois étapes principales : la *remémoration*, l'*adaptation* et l'*apprentissage*. Étant donné cible, la remémoration a pour objectif de choisir un cas source jugé similaire à cible. Souvent, ce jugement est effectué grâce à une mesure de similarité  $\mathcal{S}$  : on cherche le (srce, Sol(srce)) qui maximise  $\mathcal{S}(\text{srce}, \text{cible})$ . Étant donné le cas remémoré et le problème cible, l'adaptation propose une solution de cible. L'apprentissage consiste à stocker le « nouveau cas » (cible, Sol(cible)) dans la base de cas, si ce stockage est jugé opportun.

## 3 Six types d'adaptation par copie

Cette section présente six situations pour lesquelles l'adaptation par copie semble licite. Une telle situation est caractérisée par une relation entre le problème source et le problème cible. Une septième situation correspond aux différentes compositions de ces relations.

### 3.1 Raisonnement approximatif ou incertain

Considérons l'exemple suivant :

srce = « Durée d'un voyage en train Nancy-Paris ? »      Sol(srce) = « 3 heures »

cible = « Durée d'un voyage en train Metz-Paris ? »

À l'échelle d'un voyage de 3 heures, Nancy et Metz sont (relativement) proches. On peut faire un raisonnement approximatif qui conduit à la solution approximative de `cible`  $\text{Sol}(\text{cible}) = \ll 3 \text{ heures} \gg$ .

Ce type de raisonnement s'appuie en général sur une mesure de similarité  $\mathcal{S}$  (ou de dissimilarité). L'hypothèse sous-jacente est que si `srce` et `cible` sont proches alors la solution de `cible` doit être proche de la solution de `srce`. Cette hypothèse a été formulée dans [13] par

$$\mathcal{T}(\text{Sol}(\text{srce}), \text{Sol}(\text{cible})) \geq \mathcal{S}(\text{srce}, \text{cible})$$

où  $\mathcal{T}$  est une mesure de similarité entre solutions<sup>1</sup>.

Ce principe permet de faire des raisonnements approximatifs ou *incertains*. À titre d'exemple de raisonnement incertain, considérons les problèmes suivants dans le domaine de la prise de décision sur la comestibilité des champignons :

`srce` = « chapeau rouge, volve, lames jaunes »

`cible` = « chapeau rouge, volve, lames blanches »

(autrement dit, j'ai des champignons ayant ces caractéristiques, est-ce que je peux les manger?). La solution de `srce` est  $\text{Sol}(\text{srce}) = \ll \text{comestible} \gg$  (c'est une oronge). Comme les deux descriptions de problèmes sont similaires, on peut penser que leurs solutions seront égales :  $\text{Sol}(\text{cible}) = \text{Sol}(\text{srce})$ . En l'occurrence, ce raisonnement incertain conduira à une conclusion erronée (sauf pour les amateurs de sensations) : `cible` décrit une amanite tue-mouches.

### 3.2 Exploitation d'une équivalence entre représentations de problèmes

Considérons l'exemple suivant en démonstration automatique par analogie :

`srce` = « Montrer que la somme des angles d'un polygone à 3 côtés est de  $180^\circ$ . »

`cible` = « Montrer que la somme des angles d'un polygone à 3 angles est de  $\pi$  rad. »

`srce` et `cible` sont deux formulations du même problème. En effet, les notions de *trilatère* et de triangle coïncident et  $180^\circ = \pi$  rad.

Le principe du raisonnement est le suivant : dès que le système de représentation est capable d'inférer que deux problèmes sont équivalents, la copie d'une solution de l'un permettra de résoudre l'autre. Le paragraphe suivant décrit une généralisation de ce principe.

### 3.3 Exploitation d'une relation de généralité entre problèmes

Considérons l'exemple suivant en démonstration automatique par analogie :

`srce` = « Montrer que si  $f : \mathbb{R} \longrightarrow \mathbb{R}$  est dérivable alors  $f$  est continue. »

`cible` = « Montrer que si  $f : \mathbb{R} \longrightarrow \mathbb{R}$  est dérivable et paire alors  $f$  est continue. »

Ces deux problèmes vérifient la propriété suivante :

Toute solution de `srce` est une solution de `cible`.

---

1. Nous avons reformulé cette inéquation avec nos notations. Cette formalisation suppose que les problèmes du domaine considéré sont *déterministes*, ce qui entraîne qu'un problème a au plus une solution. Une formalisation plus générale s'appuyant sur la théorie des possibilités est également décrite dans [13].

En effet, une preuve de `srce` prouve `cible` sans utiliser l'hypothèse «  $f$  est paire ». On dira que `srce` est un problème plus général que `cible`. Disposer d'une relation de généralité entre problèmes, c'est disposer d'une relation entre problèmes  $\succcurlyeq$  telle que `srce`  $\succcurlyeq$  `cible` est une condition suffisante pour que `srce` soit plus générale que `cible`. Une telle relation est exploitée par les systèmes RÉSYN/RÀPC [14] et KASIMIR/HORS RÉFÉRENTIEL [15]<sup>2</sup>. RÉSYN/RÀPC est un système de synthèse en chimie organique à partir de cas. KASIMIR/HORS RÉFÉRENTIEL est un système (en cours de développement) d'aide à la proposition thérapeutique en cancérologie du sein s'appuyant sur des principes de RÀPC. Notons qu'on peut voir cette utilisation de  $\succcurlyeq$  comme un raisonnement déductif : la règle d'inférence ci-dessous peut être lue comme un *modus ponens* :

$$\frac{\text{cible} \quad \text{srce} \succcurlyeq \text{cible} \quad \text{Sol}(\text{srce}) \text{ est une solution de } \text{srce}}{\text{Sol}(\text{cible}) = \text{Sol}(\text{srce}) \text{ est une solution de } \text{cible}}$$

Pour RÉSYN/RÀPC et KASIMIR/HORS RÉFÉRENTIEL, la relation  $\equiv$  définie par  $\text{pb}_1 \equiv \text{pb}_2$  si  $\text{pb}_1 \succcurlyeq \text{pb}_2$  et  $\text{pb}_2 \succcurlyeq \text{pb}_1$  est la relation d'équivalence entre représentations de problèmes (décrite dans la section précédente). Dans [17], est évoquée une relation de généralité floue entre problèmes qui permet de faire une combinaison des adaptations par copie des sections 3.1 et 3.3. Une telle relation floue est utilisée par KASIMIR/HORS RÉFÉRENTIEL.

### 3.4 Exploitation de symétries

Pour comparer deux vecteurs de  $n$  booléens représentant des problèmes, sans autre précision, une mesure de similarité  $\mathcal{S}$  très simple consiste à compter le nombre de booléens communs de mêmes indices et à diviser par  $n$  (<sup>3</sup>). Considérons à présent le domaine de résolution de problèmes suivant : étant donnée une image représentée par  $n = 8 \times 12 = 96$  booléens (avec la convention vrai représente *noir* faux représente *blanc*), décrire les objets contenus dans l'image. Soit les deux problèmes `srce` et `cible` représentés à la figure 1. La similarité selon  $\mathcal{S}$  est alors la plus petite possible :  $\mathcal{S}(\text{srce}, \text{cible}) = 0$ . Pourtant, ces deux images sont très proches l'une de l'autre puisqu'elles décrivent les mêmes objets : la solution  $\text{Sol}(\text{srce}) = \{\text{un arbre}, \text{une chaise}\}$  de `srce` est également une solution de `cible`.

Considérons un deuxième exemple :

$$\begin{aligned} \text{srce} &= \text{« Durée d'un voyage en train Nancy-Paris ? »} \\ \text{cible} &= \text{« Durée d'un voyage en train Paris-Nancy ? »} \end{aligned}$$

Si on suppose que les voies de chemin de fer sont à double sens et que les prendre dans un sens prend autant de temps que dans l'autre sens (approximation), on peut conclure que le trajet Paris-Nancy prend autant de temps que le trajet Nancy-Paris.

Ces deux exemples partagent la propriété suivante : il existe une application  $\sigma : \text{Problèmes} \rightarrow \text{Problèmes}$  telle que la solution d'un problème `srce` est aussi une solution de  $\sigma(\text{srce})$ . La recherche d'applications  $\sigma$  peut se faire parmi les symétries. Pour l'exemple des images, le passage  $\sigma$  d'une image à son négatif correspond à la symétrie par

2. Pour RÉSYN/RÀPC, en fait, la solution  $\text{Sol}(\text{cible})$  n'est pas une recopie de  $\text{Sol}(\text{srce})$  mais une *spécialisation* de cette solution. Cette spécialisation peut être vue comme une recopie de la dérivation problème  $\mapsto$  solution, selon le principe de l'analogie par dérivation [16] (voir la discussion, section 4).

3. Ce qui suit s'applique de façon similaire si on considère une mesure de Tversky plus générale [18].

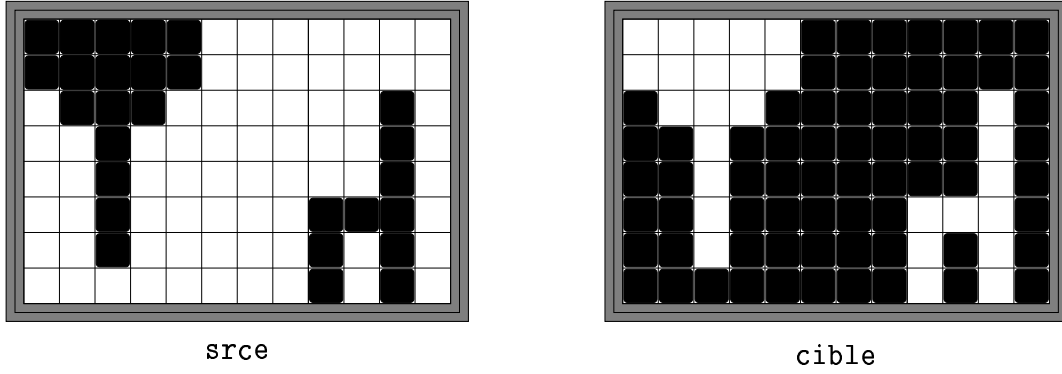


FIG. 1 – Une image et son négatif.

rapport à l'« image grise »  $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \dots, \frac{1}{2}) \in [0; 1]^{96}$  <sup>(4)</sup>. Pour l'exemple des trajets en train, le passage  $\sigma$  d'un problème à un autre consiste à inverser l'origine et la destination (ce qu'on peut voir comme l'application de la symétrie  $\vec{v} \mapsto -\vec{v}$  dans l'espace vectoriel  $\mathbb{R}^2$ ).

Notons que pour RÉSYN/RÀPC, les symétries de problèmes considérées correspondent aux isomorphismes de graphes moléculaires et que deux problèmes sont symétriques s'ils sont décrits de façon équivalentes (ce qui nous ramène à la section 3.2). De la même façon, pour les trajets en train, plutôt que de représenter les problèmes par des couples (origine, destination), on pourrait les représenter par des paires {extrémité A, extrémité B}.

### 3.5 Principe de précaution et autres spécialisations d'un problème cible décrit de façon trop imprécise

Il arrive qu'on doive résoudre un problème imprécisément connu. Par exemple, supposons qu'on ait le problème suivant dans le domaine de la prise de décision sur la comestibilité des champignons :

cible = « chapeau rouge, volve, lames »

Ce problème est très proche des deux problèmes sources suivants :

srce<sub>1</sub> = « chapeau rouge, volve, lames jaunes »

srce<sub>2</sub> = « chapeau rouge, volve, lames blanches »

On remarquera que ces deux problèmes sont plus spécifiques que le problème cible ( $\text{srce}_i \preceq \text{cible}$ ). Par ailleurs, il manque une information pour indiquer une préférence entre srce<sub>1</sub> et srce<sub>2</sub> par rapport à cible. Or, les solutions de ces deux problèmes diffèrent :

$\text{Sol}(\text{srce}_1) = \text{« comestible »}$

$\text{Sol}(\text{srce}_2) = \text{« non comestible »}$

Devant cette alternative, un simple examen de la similarité ne suffit pas. On peut alors appliquer le principe de précaution qui dit « Quand on ne sait pas, on suppose qu'on est dans le pire cas. » En l'occurrence, le pire cas est celui où l'information manquante est « lames blanches », parce qu'elle correspond au cas dangereux : on suppose qu'il est moins grave de

<sup>4</sup>. On a plongé {faux, vrai} dans l'intervalle [0; 1], comme cela se fait de façon classique en logique floue [19].

ne pas manger un champignon comestible que de manger un champignon qui ne l'est pas. Ainsi, la symétrie qui empêchait de faire le choix entre  $srce_1$  et  $srce_2$  est rompue par la connaissance des solutions de ces problèmes et de leurs conséquences, si elles étaient appliquées dans le contexte du problème à résoudre. Des deux spécialisations  $srce_1$  et  $srce_2$  de cible, on fait le choix *pessimiste* de  $srce_2$ . L'autre choix, celui de  $srce_1$ , correspond à une spécialisation optimiste qu'on pourrait (tenter de) justifier de la façon suivante : « Ce ne serait pas de chance que ce soit justement un champignon non comestible et au pire, j'aurais un peu mal au ventre. En plus, j'ai vraiment envie de manger un champignon. »<sup>5</sup> Comme le note Le Lecteur, l'information suivante peut également être utile pour cette prise de décision : « Y a-t-il un centre antipoison pas trop loin de chez moi ? »

Ce type de raisonnement est incertain (cf. section 3.1). Il s'applique en particulier dans le cadre de la prise de décision — en médecine (par exemple pour KASIMIR/HORS RÉFÉRENTIEL [9]), dans le domaine judiciaire, en politique, etc. Le principe de précaution et le « principe d'imprudence » peuvent tous deux être argumentés, la « meilleure » argumentation conduit à la décision prise (parfois parce que « La raison du plus fort est toujours la meilleure » [20]).

### 3.6 Exploitation de dépendances nulles

Considérons les problèmes suivants :

$$\begin{aligned} srce &= \left\langle\left\langle \begin{array}{l} \text{Quel est l'âge du capitaine de ce bateau} \\ \text{de 5000 t, de 120 m, de 20 ans et de couleur rouge?} \end{array} \right\rangle\right\rangle \\ cible &= \left\langle\left\langle \begin{array}{l} \text{Quel est l'âge du capitaine de cet autre bateau} \\ \text{de 5000 t, de 120 m, de 20 ans et de couleur jaune?} \end{array} \right\rangle\right\rangle \end{aligned}$$

La connaissance du problème  $srce$  s'accompagne de la connaissance d'une solution  $Sol(srce)$  de  $srce$ . Nous supposons en outre que des informations sur des *dépendances* entre descripteurs  $x_i$  de  $srce$  et descripteurs  $y_j$  de  $Sol(srce)$  sont connues. On peut voir ces dépendances comme des dérivées partielles  $\frac{\partial y_j}{\partial x_i}$  indiquant chacune la variation d'un descripteur solution par rapport à un descripteur problème. Supposons qu'on dispose des informations suivantes :

$$Sol(srce) = \text{« 50 ans »} \quad \frac{\partial \text{âge\_du\_capitaine}}{\partial \text{couleur\_du\_bateau}} = 0$$

Comme la seule variation de  $srce$  à  $cible$  correspond au descripteur  $couleur\_du\_bateau$ , en s'appuyant sur l'approximation à l'ordre 1 suivante (où  $\Delta g$  correspond à la variation de la grandeur  $g$  de  $srce$  vers  $cible$ ) :

$$\Delta y_j \simeq \sum_i \frac{\partial y_j}{\partial x_i} \Delta x_i$$

on peut conclure  $Sol(cible) \simeq Sol(srce)$  : les  $\frac{\partial y_j}{\partial x_i} \Delta x_i$  sont tous nuls pour cet exemple.

Cet exemple montre comment on peut exploiter des dépendances nulles pour faire une adaptation par copie : si les variations de  $srce$  à  $cible$  sont connues pour être indépendantes

---

5. Ne faites pas ce raisonnement chez vous.

de la solution  $\text{Sol}(\text{srce})$  de  $\text{srce}$ , alors, cette solution résout également  $\text{cible}$  (dans les limites de l'approximation). Ce type d'adaptation est décrit en détail dans [5].

Ce raisonnement est généralement approximatif et correspond à un développement à l'ordre 1 (alors que le raisonnement approximatif décrit à la section 3.1 s'appuyait sur un développement à l'ordre 0). Si  $\frac{\partial y_j}{\partial x_i}$  est supposé uniformément nul (quel que soit  $\text{srce}$ ), le résultat est exact (dans l'exemple, cette hypothèse se lit : « Quel que soit le bateau, sa couleur n'influence pas l'âge de son capitaine. »).

Cet exemple illustre également le cas d'adaptation par copie quand une dépendance  $\frac{\partial y_j}{\partial x_i}$  est non nulle mais que le descripteur  $x_i$  ne varie pas de  $\text{srce}$  à  $\text{cible}$ . C'est le cas, en particulier pour le descripteur  $\text{tonnage}$ , si  $\frac{\partial \text{âge\_du\_capitaine}}{\partial \text{tonnage}} \neq 0$ .

### 3.7 Composition d'adaptations par copie

On peut composer les adaptations par copie comme on peut composer de façon générale les adaptations suivant le principe des chemins de similarité [4].

Un type d'adaptation par copie peut généralement être donné par une relation  $r$  sur Problèmes telle que si  $\text{srce} \ r \ \text{cible}$ , alors toute solution de  $\text{srce}$  est une solution de  $\text{cible}$  (<sup>6</sup>). Soit  $r_1, r_2, \dots, r_q$ , de telles relations. La relation  $r_1; r_2; \dots; r_q$  est la composition de ces relations, autrement dit,  $\text{srce} \ r_1; r_2; \dots; r_q \ \text{cible}$  s'il existe  $\text{pb}_0, \text{pb}_1, \dots, \text{pb}_q$  avec  $\text{srce} = \text{pb}_0, \text{pb}_0 \ r_0 \ \text{pb}_1, \text{pb}_1 \ r_1 \ \text{pb}_2, \dots, \text{pb}_{q-1} \ r_{q-1} \ \text{pb}_q$  et  $\text{pb}_q = \text{cible}$ . Cette composition détermine une autre adaptation par copie obtenue par une séquence d'adaptations par copie : (1)  $\text{Sol}(\text{srce}) = \text{Sol}(\text{pb}_0)$  est copiée en  $\text{Sol}(\text{pb}_1)$ , (2)  $\text{Sol}(\text{pb}_1)$  est copiée en  $\text{Sol}(\text{pb}_2)$ , ... (q)  $\text{Sol}(\text{pb}_{q-1})$  est recopiée en  $\text{Sol}(\text{pb}_q)$ .

## 4 Discussion

Selon le principe de la remémoration guidée par l'adaptabilité (*adaptation-guided retrieval* [21]), les phases de remémoration et d'adaptation doivent être liées : la remémoration a pour (seul ?) but de fournir un cas à adapter. La connaissance qui lie ces deux phases du RÀPC est la similarité. Dans le meilleur des cas, similaire entraîne adaptable et adaptable entraîne similaire (correction et complétude de la remémoration [22]) :  $\text{srce}$  est similaire à  $\text{cible}$  si et seulement si le module d'adaptation est capable de résoudre  $\text{cible}$  par adaptation de  $\text{Sol}(\text{srce})$ . Les adaptations décrites dans cet article relèvent donc autant des connaissances d'adaptation que des connaissances de remémoration. Elles peuvent être résumées par les relations entre problèmes qui entraînent une adaptation par copie.

En terme d'acquisition des connaissances d'adaptation, la question qui était posée était « Comment se déplacer dans l'espace des problèmes sans avoir à se déplacer dans l'espace des solutions ? » Les exemples donnés ci-dessus ont pour but de servir de guide non exhaustif pour répondre à cette question dans un domaine d'application particulier. Consacrer du temps à cette étude lors de l'acquisition des connaissances présente plusieurs avantages. Tout d'abord, ce sont des connaissances dont l'implantation nous semble souvent relativement aisée (le principe de précaution a été appliqué à cette phrase). Ensuite, selon [1], les êtres humains font peu d'adaptation quand ils raisonnent à partir de cas<sup>7</sup> et essaient le plus possible

6. Ceci est une simplification. En effet, parfois, la solution de  $\text{srce}$  joue un rôle dans ce raisonnement. C'est le cas en particulier pour l'application du principe de précaution (cf. 3.5).

7. *We argued that people often do very little adaptation* p. 44.

de reprendre une solution antérieure si possible sans l'adapter — en faisant une adaptation par copie. Par conséquent, si on essaie de simuler des raisonnements humains, cela donne une justification supplémentaire à ce type d'acquisition des connaissances d'adaptation.

Toujours selon [1], les adaptations par copie arrivent fréquemment quand les solutions sont très simples<sup>8</sup>. Plus généralement, nous faisons l'hypothèse informelle que les adaptations par copie sont d'autant plus fréquentes que l'espace des solutions est « petit » par rapport à l'espace des problèmes. Par exemple, considérons un système de RÀPC qui consiste à classer un champignon, décrit par plusieurs attributs, dans l'espace des solutions, décrit par un seul attribut à valeur booléenne (`est_comestible`). Pour un tel système, l'adaptation sera souvent nulle. Pour fixer les idées, si l'espace des solutions est « petit » par rapport à l'espace des problèmes, on peut considérer métaphoriquement la résolution de problèmes comme une projection d'un espace à  $p$  dimensions dans un espace à  $s$  dimensions avec  $p > s$ ; il est alors normal de « tomber » souvent sur la même solution en partant de problèmes différents.

Supposons à l'inverse, qu'on ait un espace des solutions « grand » par rapport à l'espace des problèmes. Par exemple, considérons les problèmes de planification donnés par des couples (`init`, `final`) où `init` et `final` sont des états; une solution d'un tel problème est un chemin  $\hat{e}_0 \rightarrow \hat{e}_1 \rightarrow \dots \rightarrow \hat{e}_n$  dans l'espace des états, avec  $\hat{e}_0 = \text{init}$  et  $\hat{e}_n = \text{final}$ . Pour ce type de problème de planification, une solution donnée  $\hat{e}_0 \rightarrow \hat{e}_1 \rightarrow \dots \rightarrow \hat{e}_n$  résout un seul problème :  $(\hat{e}_0, \hat{e}_n)$ . L'adaptation par copie telle quelle ne peut s'appliquer pour donner une réponse correcte au problème cible que si les problèmes source et cible sont égaux. En revanche, supposons à présent que l'espace d'états soit structuré par un ensemble prédéfini d'opérateurs et qu'une solution soit une séquence d'opérateurs  $\text{op}_1; \text{op}_2; \dots \text{op}_n$  ayant mené d'un état initial à un état final. La description des solutions est beaucoup plus simple que précédemment et l'espoir de réutiliser littéralement une solution  $\text{op}_1; \text{op}_2; \dots \text{op}_n$  d'un problème de planification `srce` pour résoudre un problème de planification `cible` est beaucoup plus grand (on se place dans le cadre de l'analogie par dérivation plutôt que dans celui de l'analogie par transformation [16]). C'est le cas en particulier pour le système RÉ-SYN/RÀPC [14]: un plan de synthèse vu comme un ensemble de molécules liées par des réactions chimiques résout un problème unique de synthèse, mais si on ne garde du plan de synthèse que l'application des transformations chimiques, ce plan s'applique à plusieurs problèmes de synthèse. L'idée est alors de choisir un *point de vue* sur la solution et de travailler dans l'espace plus petit du point de vue avec l'objectif d'avoir des adaptations par copie plus fréquentes. Ce point de vue peut être le point de vue de la dérivation (ci-dessus, la succession des opérateurs). Une fois une adaptation par copie effectuée dans ce point de vue, on dispose d'un point de vue sur la solution cherchée, ce qui est un premier pas de l'adaptation. Pour le point de vue « dérivation », afin d'obtenir la solution complète, il suffit de « rejouer » la dérivation sur le problème cible. Une étude des points de vue pour l'adaptation en RÀPC est décrite dans [23]. À titre de perspective, on peut chercher dans un domaine d'application particulier ou de façon plus générale des points de vue pour lesquels l'adaptation par copie peut s'appliquer fréquemment.

Une idée que nous avions avant d'entamer cette étude était que, généralement, l'adaptation par copie était un pis-aller car elle conduisait à des solutions dégradées (car approximatives et/ou incertaines). Cette étude nous a permis de voir que, souvent, ce n'est pas le cas. Cette intuition fautive était probablement fondée sur l'image des espaces de problèmes et de solutions comme des plans parallèles qui, si elle est souvent utile comme métaphore

---

8. Null adaptation also comes up in tasks where, even though the reasoning to a solution may be complex, the solution itself is simple (p. 44, également).



pour lier ces deux espaces (et, partant, la remémoration avec l'adaptation), induit faussement l'idée d'espaces similaires — voire isomorphes pour la relation (alors, fonctionnelle) de résolution de problèmes sur Problèmes  $\times$  Solutions évoquée à la section 2. Selon une telle vision, s'éloigner de *srce* vers *cible* en gardant  $Sol(srce) = Sol(cible)$  donne une solution qui n'est qu'approchée de la « vraie » solution de *cible* (et d'autant moins que *srce* et *cible* sont distants). Si cette métaphore nous semble rester valable pour les raisonnements approximatif et incertain (cf. 3.1), elle trouve ses limites pour les autres situations d'adaptation par copie.

Le dernier point que nous voulons discuter est le suivant. Une tendance actuelle en RÀPC consiste à dire que l'adaptation est un processus *ad hoc* et non obligatoire<sup>9</sup>. Le point de vue inverse consiste à mettre l'adaptation au cœur du processus de RÀPC [2]. On pourrait penser que l'étude présentée dans cet article va dans le sens de la tendance « moins d'adaptation », puisque l'adaptation qui est étudiée ici est l'adaptation nulle. Nous allons argumenter dans le sens inverse. À part (peut-être) pour les approches présentées aux sections 3.1 et 3.2, nous avons considéré les relations entre les problèmes en fonction des liens entre problèmes et solutions. Autrement dit, les problèmes ne représentent pas uniquement des descriptions de situations mais également des requêtes (même si ces requêtes sont parfois implicites) : les notions de problème et de solution sont dépendantes, l'une ne va pas sans l'autre, et penser aux problèmes sans penser aux solutions est très restrictif. Par conséquent, une réflexion sur la remémoration seule, ne portant que sur l'espace des problèmes et pas sur l'espace des solutions, peut empêcher de trouver certaines connaissances utiles à la remémoration, comme celles décrites aux sections 3.3 à 3.6. À titre d'exemple, l'utilisation pour le RÀPC du principe de précaution décrite à la section 3.5 a été mise en évidence lors d'une acquisition de connaissances d'adaptation [9].

## 5 Conclusion

Cet article est un inventaire non exhaustif des situations pour lesquelles l'adaptation par copie semble licite. Ces situations ne sont pas disjointes : une adaptation par copie peut relever de plusieurs de ces situations. Les six situations présentées sont : celle qui correspond à un raisonnement approximatif ou incertain, celle qui exploite l'équivalence entre représentations de problèmes, celle qui exploite la relation de généralité du problème source au problème cible, celle qui exploite des symétries, celle qui correspond au principe de précaution et celle qui correspond au cas des dépendances nulles. Ces situations relèvent à la fois de la remémoration et de l'adaptation, selon le principe de la remémoration guidée par l'adaptabilité. De telles adaptations par copie peuvent se faire sur les solutions, sur les dérivations de solutions ou — plus généralement — sur des points de vue de solutions. Dans ces situations (à part sans doute celle du raisonnement approximatif ou incertain) les adaptations par copie ne conduisent pas forcément à des solutions dégradées. Chaque type d'adaptation par copie donne une explication sur le raisonnement et la production de la solution ; un utilisateur peut apprécier de savoir que la solution a été copiée d'une autre solution sur la base d'un raisonnement approximatif ou d'une symétrie.

À titre de perspective, on peut tenter de répondre à la question suivante, pour une application particulière ou plus généralement : « Selon quels points de vue l'adaptation par

---

9. À titre d'illustration, citons un extrait du glossaire de [24], entrée *Adaptation Knowledge* : « *Adaptation knowledge is not mandatory for CBR applications but can be optionally used to improve the retrieved solution.* »

copie est-elle fréquente ? ». Cela suppose probablement une meilleure formulation de cette question. Une autre perspective consiste à suivre le conseil suivant de Le Lecteur : « *L'identification des circonstances où la copie est applicable ne pourrait-elle pas aider à déterminer, le cas échéant, une typologie des relations entre problèmes et les connaissances d'adaptation pour ces types de relation (pour l'ingénierie des connaissances d'adaptation) ?* » Cela reviendrait à essayer de structurer le ou les catalogues de stratégies d'adaptation évoquées dans l'introduction.

## Remerciements

L'auteur tient à remercier son honorable mère pour l'exemple sur les amanites tue-mouches et les oronges et Nathalie Vallès-Parlangeau, dont une anecdote a inspiré un autre exemple d'application du principe de précaution (plus riche mais moins racontable). Il tient également à remercier Le Lecteur pour ses judicieuses remarques.

## Références

- [1] Riesbeck (C. K.) et Schank (R. C.). – *Inside Case-Based Reasoning*. – Hillsdale, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1989.
- [2] Mille (A.), Fuchs (B.) et Herbeaux (O.). – A unifying framework for Adaptation in Case-Based Reasoning. In : *Proceedings of the ECAI'96 Workshop: Adaptation in Case-Based Reasoning*, éd. par Voß (A.), pp. 22–28. – 1996.
- [3] Lieber (J.), Melis (E.), Mille (A.) et Napoli (A.) (édité par). – *Formalisation of Adaptation in Case-Based Reasoning*. – Third International Conference on Case-Based Reasoning Workshop, ICCBR-99 Workshop number 3, S. Schmitt and I. Vollrath (volume editor), LSA, University of Kaiserslautern, 1999.
- [4] Lieber (J.). – Reformulations and Adaptation Decomposition. In : *Formalisation of Adaptation in Case-Based Reasoning*, éd. par Lieber (J.), Melis (E.), Mille (A.) et Napoli (A.). – Third International Conference on Case-Based Reasoning Workshop, ICCBR-99 Workshop number 3, S. Schmitt and I. Vollrath (volume editor), LSA, University of Kaiserslautern, 1999.
- [5] Fuchs (B.), Lieber (J.), Mille (A.) et Napoli (A.). – An Algorithm for Adaptation in Case-Based Reasoning. In : *Proceedings of the 14th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI-2000), Berlin, Germany*, pp. 45–49. – 2000.
- [6] Jarmulak (J.), Craw (S.) et Rowe (R.). – Using Case-Base Data to Learn Adaptation Knowledge for Design. In : *Proceedings of the 17th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'01)*. pp. 1011–1016. – Morgan Kaufmann, Inc., 2001.
- [7] Hanney (K.) et Keane (M. T.). – Learning Adaptation Rules From a Case-Base. In : *Advances in Case-Based Reasoning – Third European Workshop, EWCBR'96*, éd. par Smith (I.) et Faltings (B.). pp. 179–192. – Springer Verlag, Berlin, 1996.
- [8] Fuchs (B.) et Mille (A.). – Une modélisation au niveau connaissance du raisonnement à partir de cas. In : *Actes des journées ingénierie des connaissances (IC-2000)*, pp. 3–11. – Toulouse, 2000.
- [9] Lieber (J.), Bey (P.), Boisson (F.), Bresson (B.), Falzon (P.), Lesur (A.), Napoli (A.), Rios (M.) et Sauvagnac (C.). – Acquisition et modélisation de connaissances d'adaptation, une étude pour le traitement du cancer du sein. In : *Actes des journées ingénierie des connaissances (IC-2001)*, pp. 409–426. – Grenoble, 2001.
- [10] Kolodner (J.). – *Case-Based Reasoning*. – Morgan Kaufmann, Inc., 1993.

- [11] Lieber (J.) et Napoli (A.). – Correct and Complete Retrieval for Case-Based Problem-Solving. *In : Proceedings of the 13th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI-98), Brighton, United Kingdom*, éd. par Prade (H.), pp. 68–72. – 1998.
- [12] Lieber (J.). – Des règles, des cas, des généralités, des spécificités, des applications, des adaptations, des chaînes, des combinaisons et des tartes. *In : Actes du IX<sup>ème</sup> séminaire français de raisonnement à partir de cas*, éd. par Fuchs (B.) et Mille (A.). – 2001.
- [13] Dubois (D.), Esteva (F.), Garcia (P.), Godo (L.), de Mántaras (R. L.) et Prade (H.). – Fuzzy set modelling in case-based reasoning. *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 13, 1998, pp. 345–373.
- [14] Lieber (J.) et Napoli (A.). – Using Classification in Case-Based Planning. *In : Proceedings of the 12th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI'96), Budapest, Hungary*, éd. par Wahlster (W.). pp. 132–136. – John Wiley & Sons, Ltd., 1996.
- [15] Lieber (J.) et Bresson (B.). – Case-Based Reasoning for Breast Cancer Treatment Decision Helping. *In : Advances in Case-Based Reasoning — Proceedings of the fifth European Workshop on Case-Based Reasoning (EWCBR-2k)*, éd. par Blanzieri (E.) et Portinale (L.), pp. 173–185. – Springer, 2000.
- [16] Carbonell (J. G.). – Derivational analogy: A Theory of Reconstructive Problem Solving and Expertise Acquisition. *In : Machine Learning*, chap. 14, pp. 371–392. – Springer-Verlag, 1986.
- [17] Lieber (J.). – Strong, Fuzzy and Smooth Hierarchical Classification for Case-Based Problem Solving. *In : accepted for publication in the proceedings of the 15th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI-02), Lyon, France*, éd. par van Harmelen (F.). – IOS Press, Amsterdam, 2002.
- [18] Tversky (A.). – Features of Similarity. *Psychological Review*, vol. 84, 1977, pp. 327–352.
- [19] Ruspini (E. H.), Bonissone (P. P.) et Pedrycz (W.) (édité par). – *Handbook of Fuzzy Computation*. – Institute of Physics Publishing, 1998.
- [20] de la Fontaine (J.). – Le Loup et l'agneau. *In : Fables, livre I*. – 1693.
- [21] Smyth (B.) et Keane (M. T.). – Using adaptation knowledge to retrieve and adapt design cases. *Knowledge-Based Systems*, vol. 9, n2, 1996, pp. 127–135.
- [22] Lieber (J.) et Napoli (A.). – Correct and Complete Retrieval for Case-Based Problem-Solving. *In : Proceedings of the 13th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI-98), Brighton, United Kingdom*, éd. par Prade (H.), pp. 68–72. – 1998.
- [23] d'Aquin (M.), Lieber (J.) et Napoli (A.). – Représentation multi-points de vue des connaissances pour l'adaptation. *In : actes du X<sup>ème</sup> séminaire français de raisonnement à partir de cas*. – 2002.
- [24] Bergmann (R.), Breen (S.), Göger (M.), Manago (M.) et Wess (S.). – *Developing Industrial Case-Based Reasoning Applications – The INRECA-Methodology*. – Springer, 1998, *Lecture Notes in Artificial Intelligence 1612*.